

Виділення гармонійних складових відклику чотириполюсника при зміні вхідного струму

Белякова І. асп., Добротвор І., к.м.н., доц.

Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя
м. Тернопіль, вул. Руська, 53, тел. 0352 25 24 77, i_belyakova@ukr.net

Одним з напрямків в розробці високочастотних напівпровідникових пускорегулюючих апаратів є заміна електромагнітних вузлів (трансформатора, дроселя) п'єзоелектричними трансформаторами (ПТ) [1, 2], які мають значно менші масу та габарити і не містять електромагнітних компонентів. Для розрахунків п'єзотрансформаторів ПТ використовують метод електромеханічних аналогій та експериментально-аналітичні методи дослідження характеристик [1, 2].

Для проведення розрахунку п'єзотрансформатора представимо його конструкцію у вигляді чотириполюсника, до вхідних затискачів якого приєднане джерело напруги, а до вихідних – люмінесцентна лампа.

Представимо отримані експериментальні результати у вигляді замірів вихідної напруги чотириполюсника U_k для k -того датчика відносно вхідної сили струму $I_{вх}$ при постійному значенні частоти вхідної напруги, рівній резонансній частоті ПТ $f = f_p = const$, та постійному значенні температури довкілля $T = const$.

Аналітичне представлення досліджуваного процесу відносно незалежного (вхідного) часоподібного параметра може бути записане у вигляді:

$$y(t) = q_0 + q_1 e^{-\beta t} \sin(\gamma t + \varphi), \quad (1)$$

де параметри $\alpha > 0$, $\beta > 0$, γ та φ визначаються із графічного представлення експериментальних замірів, функціонально залежних від часу, q_0 , q_1 – сталі.

Диференціюючи (1), отримуємо:

$$y'(t) = \frac{q_1}{\sqrt{\gamma^2 + \beta^2}} e^{-\beta t} \sin(\gamma t + \varphi + \theta), \quad (2)$$

де коливна складова є відгуком на релаксаційні повільно затухаючі процеси. У формулі (2) маємо: $\theta = -\arctg \frac{\gamma}{\beta}$, таким чином параметр θ ми маємо змогу обчислити із частки $\frac{\varphi + \theta}{\gamma}$, яка визначається як зміщення максимумів похідної $\frac{dy}{dt}$ від часових точок виду $2\pi k$, або ж мінімумів від точок $\pi(1 + 2k)$, k – ціле число. Звідси отримуємо: $\beta = -\gamma \operatorname{ctg} \theta$.

Перетворимо представлення процесу (3) до вигляду:

$$(y(t) - q_0) e^{\beta t} = q_1 \cdot \sin(\gamma t + \varphi), \quad (3)$$

Перепозначимо ліву частину (4), здійснивши одночасно наближення виразу у правій частині:

$$z(t) = s_1 e^{s_2 t}, \quad (4)$$

підібравши відповідними числовими методами параметри s_1, s_2 так щоб мінімізувати відхилення між правими частинами (2) і (3). Тоді $\beta - \alpha = s_2$, звідки отримуємо α .

В ході аналізу експериментальних даних описаними методами після відповідних перепозначень ($t = I, t = I_j$) отримано графіки зміни елементів вибірки даних вихідної напруги $U(I_j)$ відносно вхідної сили струму I_j . Визначені параметри складових досліджуваного процесу дали змогу графічної візуалізації апроксимації функції відзиву за допомогою лінійної комбінації експоненційних та тригонометричних функцій (рис. 1).

$$a1 := 1.16 \quad T1 := 48 \quad f1 := 25.48 \quad b1 := -0.0036 \quad c1 := -0.94$$

$$a2 := 4.62 \quad T2 := 756 \quad f2 := 379.76 \quad b2 := -0.00072 \quad c2 := 1.16$$

$$t := 60, 60.1 \dots 600 \quad y1(t) := a1 \cdot e^{b1 \cdot t} \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{T1} \cdot t + f1\right) + c1$$

$$y2(t) := a2 \cdot e^{b2 \cdot t} \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{T2} \cdot t + f2\right) + c2 \quad y3(t) := 1.64 \cdot e^{-(t-65)}$$

$$u(t) = y1(t) + y2(t) + y3(t) + a, \quad a = 0,8. \quad (5)$$

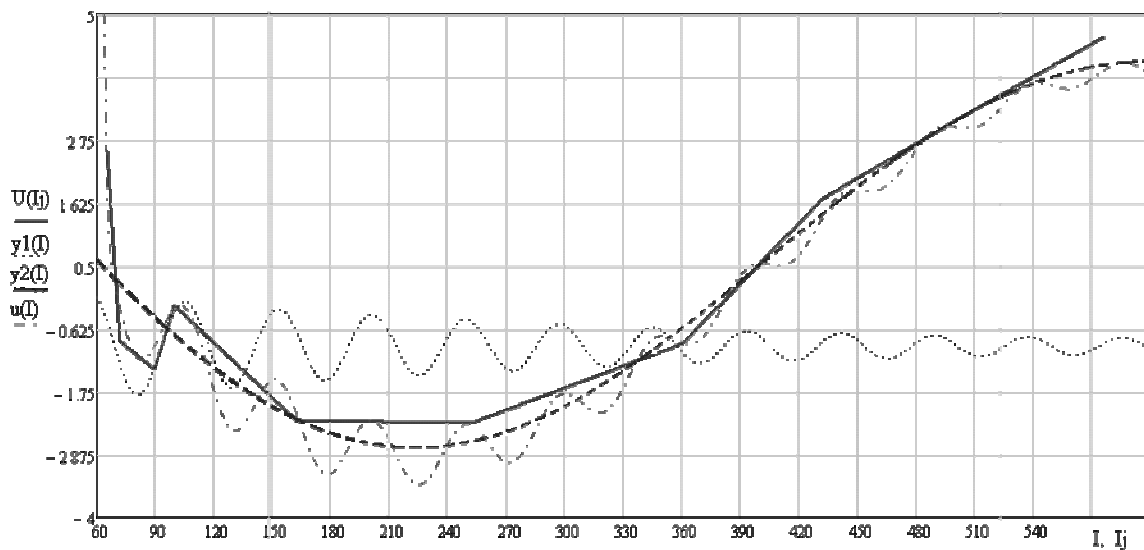


Рис.1. Графіки експериментальної залежності $U(I_j)$ вихідної напруги від вхідної сили струму, осциляційних складових $y1(t), y2(t)$ та результотної аналітичної залежності $u(t)$.

Оцінки часоподібних частот осциляційних складових $y1(t), y2(t)$ представимо у вигляді:

$$\frac{2 \cdot \pi}{T1} = 0.131 \quad \frac{2 \cdot \pi}{T2} = 8.311 \times 10^{-3}$$

що апроксимує частоту третьої осциляційної складової $y0(t)$, виходячи із співвідношення: $\frac{T2}{T1} = \frac{T1}{T0}$.

Звідси отримуємо співвідношення: $TO = 3,038 \text{ мА}$; $\frac{2\pi}{TO} = 2,068 \mu\text{А}^{-1}$. Відмітимо, що останній результат не міг бути зафіксований чисто експериментальними методами.

Представлення відзиву системи у вигляді $\bar{u}(t) = u(t) + y_0(t)$ дає можливість покращення точності наближень.

Залежності вихідної напруги є лінійними при значеннях вхідної сили струму від 60 до 90 мА та нелінійними при більших вхідних значеннях струму і на розширеному діапазоні досліджень від 50 до 600 мА, які є робочими для навантаження ПТ люмінесцентними лампами потужністю 15...30 Вт. Ця нелінійність пояснюється механічними втратами в п'єзоматеріалі при збільшенні напруженості електричного поля ПТ. Отримане представлення (5) дає можливість прогнозу роботи системи для довільного значення вхідного струму із дослідженого діапазону.

Література

1. Ерофеев А.А. Пьезоэлектронные устройства автоматики/ Ерофеев А.А. -Ленинград: Машиностроение, Ленинградское отделение, - 1982.-212 с.
2. Карташов И.А. Пьезоэлектрические трансформаторы тока / И.А.Карташов, Н.Б.Марченко. – К.: Техника, - 1968.- 176 с.